除草剤がアカマツの菌根と土壌微生物に与える影響

小 川　眞[(1)]・山 家 義 人[(2)]

Makoto OGAWA and Yoshito YAMBE : Effects of Herbicides on the Mycorrhizae of *Pinus densiflora* and Soil Microorganisms

要　旨：アカマツ（*Pinus densiflora*）の2年生苗をポットに植栽し，塩素酸ソーダ（$NaClO_3$）70%粒剤（75，150，300，600 kg/ha），テトラフルオロプロピオン酸（TFP）10%粒剤（150 kg/ha），スルファミン酸アンモン（AMS）70%粒剤（150 kg/ha）を散布し，アカマツ苗の生長と菌根の消長および土壌微生物の変動を調査した。$NaClO_3$ の 150 kg/ha 以上の高濃度区では地上部の生長阻害が見られ，低濃度区では生長促進が見られた。$NaClO_3$ の高濃度区では根の生長抑制があり，菌根形成も阻害されたが，散布9か月後には根の再生と菌根形成がみられた。TFP では地上部の生長阻害が小さいわりに，根の生長阻害が認められた。$NaClO_3$ と同様に散布9か月後には菌根形成が回復した。AMS では地上部，地下部ともにほとんど影響が現われなかった。

$NaClO_3$ の散布区ではアカマツの根圏の菌糸が散布直後にいったん消え，9か月後からポット壁にそって再び生長を始めた。高濃度の 600 kg/ha では菌糸の再生長がおくれたが，菌根の種類は増加した。$NaClO_3$ の濃度によって形成される菌根の種類が変化した。

土壌微生物相の変化は使用した土壌によって異なったが，$NaClO_3$ を散布した場合の土壌微生物数の変動には一定の傾向が認められた。全般に散布直後に減少し，2～3か月後に急増し，6か月後から減少安定する傾向がみられ，その動きは濃度が高いほど大きかった。細菌と糸状菌の中でも *Bacillus mycoides* と *Trichoderma* sp. の変化は大きく，$NaClO_3$ 300 と 600 kg/ha で消失した。土壌微生物相は散布1年後にほぼ回復したが，$NaClO_3$ 75 kg/ha では細菌が多かった。

I　ま え が き

林業における除草剤の使用量はわずかなものであるが，ササ，潅木，ススキ，クズなどの枯殺を目的として，各種の薬剤が苗畑や林地で使われてきた。とくにササの多い東北，北海道の各地では造林の地ごしらえのために広域にわたって塩素酸ソーダが使用されることも多かった。この研究は昭和44～47年度にわたって実施された特別研究「除草剤の森林生態系におよぼす影響とその調査法に関する研究」の一部である[12]。

除草剤が林地に散布されると，動植物だけでなく，土壌中の微生物にも影響がおよぶ。とくに，外生菌根を形成するマツ科植物などの場合には菌根菌自体や菌根形成に対する薬剤の影響もみておく必要がある。殺菌剤にかぎらず，殺虫剤や除草剤の中にも菌根菌に害をおよぼすものが多い。

菌根菌の薬剤に対する感受性は菌の種によって異なるが，一般に高濃度では菌糸の生育阻害が見られる[4)14)]。また，菌によっては微量の薬剤が生長を促進するという例もある[15)]。菌根形成が殺虫剤や殺菌剤で抑制されるのは一般的な傾向であるが，とくに高濃度では菌根が消えることがある[2)3)5)8)]。マツタケの培養菌糸をアカマツの菌に接種する場合にも，菌根菌に対して選択的な殺菌力をもつ薬剤が使われる[7)]。殺菌剤を土壌に施用すると，有害微生物が減少し，菌根形成が悪い場合でもマツ類の苗の生長がよくなることもある[8)10)16)]。また，殺菌剤でおさえられた菌根形成がノコクズ堆肥の施用で回復し，マツの生長が

1980年4月1日受理　　土　壌—30 For. Soil—30

(1) (2)　土じょう部

良くなったという例[11]もある。薬剤の種類やその使用法によって，菌根形成率や土壌微生物相がはげしく変化することはよく知られており，$NaClO_3$ についても確認する必要があったので，この実験を行った。

本研究を行うにあたって，ご助言いただいた林業試験場元造林部長　加藤善忠博士，真部辰夫博士，元土壌調査科長　黒鳥　忠博士，元土壌肥料科長　植村誠次博士らに感謝する。また実験を進める上でご助力頂いた松本久二氏，山家富美子氏，赤沼試験地の各位，本稿の校閲を賜わった土じょう部長　河田　弘博士，土じょう肥料科長　原田　洸博士にお礼申し上げる。

II 材料と方法

東京都目黒区の　林業試験場目黒苗畑の火山灰性黒色土のA層土壌を素焼ポット（口径 30 cm）に入れ，同苗畑で育成したアカマツ2年生苗を1ポットあたり5本ずつ1971年4月6日に植栽した。アカマツ苗が発根し始めたことを確認した上で，植付3週間後の4月27日に除草剤を散布した。

使用した除草剤は塩素酸ソーダ（$NaClO_3$）の70％粒剤，スルファミン酸アンモン（AMS）の70％粉剤，テトラフルオロプロピオン酸（TFP）の10％粉剤であった。散布した量は林地における通常施用量150 kg/ha を基準とし，ポットの表面積あたりの量が75，150，300 および 600 kg/ha になるように換算して散布した。対照として無散布区をもうけた。

また，1972年4月には土壌の相違と薬剤の影響との関係をみるために埼玉県入間郡の赤沼苗畑で同様の実験を行った。この土壌は洪積層に由来する，火山灰を混じえた赤色系褐色森林土で，有機物に乏しく，弱酸性で微生物相も貧弱であった。

除草剤散布の1か月後，3か月後，6か月後および9か月後に苗の生長量と根や菌根量の測定を行った。根や菌根は平均的な生長状態を示している1ポットからとり出し，水洗後，風乾および絶乾して重量測定を行った。根と菌根の量は苗1本あたりの平均値で示した。根をほりとった際に菌根の形態やポット壁の菌糸束，菌のコロニーなどの状態をあわせて観察記録した。

土壌微生物分離用試料は先のアカマツの生育測定日に表層から1～2 cm の深さで，3点から採取し混合して用いた。微生物の分離は希釈平板法の常法によった。糸状菌分離用培地としてはペプトン，グルコース，ローズベンガル加用培地を，細菌，放線菌分離用としては土壌煎汁培地を用いた[6]。培養温度は25℃，4日間定温におき，以後室温に放置して菌数を計測した。

III 結　果

1. アカマツの生育と菌根に対する影響

1)　アカマツ地上部の生長：Fig. 1 に目黒苗畑土壌を用いて除草剤を散布した場合のアカマツの生長量を示す。生長は地上部長と地上部および地下部の乾燥重量で示し，地上部長は地ぎわから芽の先端までとした。塩素酸ソーダ，$NaClO_3$ 600 kg/ha では初期生長の抑制があり，散布直後の芽の伸長がとまった。$NaClO_3$ 300，150，75 kg/ha でもそれぞれ地上部の生長抑制が見られたが，その抑制の程度は濃度の低下にともなって少なくなった。$NaClO_3$ 75 kg/ha では散布6か月後から葉色が濃くなり，上長生長が増加し，無散布より生長が良好となった。AMS や TFP では生長阻害効果は見られず，TFP 150 kg/ha では無散布区より生長が良好となり，徒長する傾向すら見られた。

地上部の重量をみると，$NaClO_3$ 75 kg/ha と無散布では正常な生長曲線が見られたが，その他のポッ

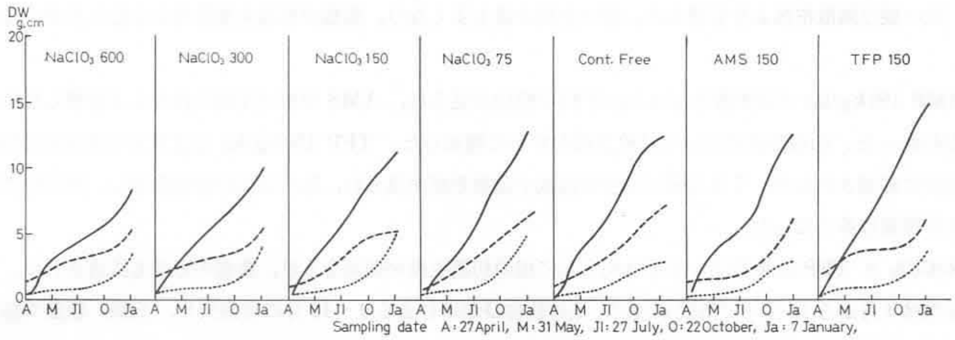


Fig. 1　アカマツ苗の生長におよぼす除草剤の影響

Effects of herbicides on the growth of *Pinus densiflora* saplings.

——：地上部生長量（cm），---：地上部乾燥重量（g），……：地下部乾燥重量（g）
$NaClO_3$：70% 塩素酸ソーダ粒剤，AMS：70% スルファミン酸アンモン粒剤，TFP：10% テトラフルオロプロピオン酸，600～75：除草剤散布濃度，kg/ha，1971年4月6日植付，4月27日除草剤散布。

——：Growth in height (cm)，---：Dry weight of top (g)，……：Dry weight of root (g)，$NaClO_3$：70% $NaClO_3$，AMS：70% Ammonium sulfamate，TFP：10% Tetrafluoro-propionic acid，600～75：Concentration of herbicides，kg/ha，Planting：Apr. 6，Treatment by herbicides：Apr. 27, 1971.

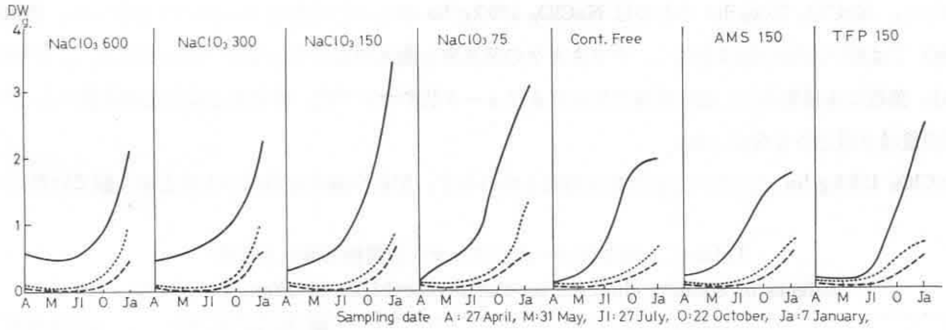


Fig. 2　根と菌根形成におよぼす除草剤の影響

Effects of herbicides on the growth of roots and mycorrhiza formation.

——：古い主根の乾燥重量（g），---：菌根と細根の乾燥重量（g），……：若い主根の乾燥重量（g）。除草剤の略記号と散布濃度は Fig. 1 を参照。

——：Dry weight of old thick roots (g)，---：Dry weight of mycorrhizae and fine roots (g)，……：Dry weight of fresh main roots (g).

トでは初期生長が抑制された。$NaClO_3$ の高濃度や AMS の散布では散布9か月後に重量の増加が見られた。地上部と地下部の生長経過を見ると，$NaClO_3$ 75，150 kg/ha では，地上部と地下部の生長量にアンバランスが認められたが，無散布やその他のポットでは地上部と地下部の生長量は比例していた。伸長生長に限って見れば，低濃度の $NaClO_3$ と TFP 散布ポットでは地上部に促進効果が認められた。

2）　アカマツ地下部の生長：Fig. 2 に根量の変化を示す。植栽時期が多少遅く，植栽時に根を切ったので，無散布区でも夏まで根量は少なかった。$NaClO_3$ 150，300，600 kg/ha 区では初期の発根と菌根形成がつよく抑制をうけ，600 kg/ha では枯死する根も見られた。若い主根の発生は夏にはじまり，菌根形成も秋に回復した。太い根の量も秋まで増加しなかったが，秋以降，肥大生長がすすみ，$NaClO_3$ 150 kg/ha では太い根の量がかなり多くなった。$NaClO_3$ 75 kg/ha では初期の生長抑制が高濃度にくらべて少な

く，太い根は無散布区よりも増えた。若い主根の量も多くなり，菌根の形成も無散布よりむしろ多くなった。

AMS 150 kg/ha では無散布とほとんど同じ傾向が見られ，AMS が根の生長にほとんど影響しないことがわかった。菌根形成については秋以後わずかに増加した。TFP 150 kg/ha では夏まで根の生長がほぼ完全に抑制されたが，7月以降には根の再成や菌根形成が見られ，秋には太い根が急増し，無散布ポットより根量は多くなった。

$NaClO_3$ と TFP の散布ポットでは明らかに根の初期生長が抑制をうけ，菌根の形成も阻害された。この効果は4月から10月まで持続したが，根の秋伸びがはじまる9～10月には消失し，以後，根量や菌根量の急激な増加が見られた。$NaClO_3$ の低濃度や TFP 150 kg/ha では10月以降における地下部の生長促進効果が顕著であった。また，地下部に対する $NaClO_3$ の生長促進と抑制効果はその散布濃度に比例するものと思われた。

3）菌根の変化：アカマツの苗の根にできる外生菌根の質も量も明らかに変化した。薬剤散布1か月後では無散布と $NaClO_3$ 75 kg/ha および AMS 150 kg/ha の，ポットに接した面に菌糸束と菌根が認められた。しかし，他の区では若い根の発生も菌糸の生長も見られなかった。

散布6か月後の菌糸と菌根の状態を Table 1 に示す。AMS と TFP については無散布区とほとんど差がなく，$NaClO_3$ 75 kg/ha のものは $NaClO_3$ 150 kg/ha のものと大差なかったので省略した。無散布（対照）では若い主根の数は少なく，キツネタケの菌糸束と菌糸が根にそってのびるのが見られた (Photo. 1, A)。菌根は4種類あり，通常苗畑で見られるフォーク状やサンゴ状，棒状などの白色の菌根であった。菌根の量はさほど多くなかった。

$NaClO_3$ 150 kg/ha では若い主根の数は対照とかわらず，菌根や菌糸も対照のものとよく似ていた。わ

Table 1. 塩素酸ソーダがアカマツの菌根に与える影響
Effects of sodium chlorate on the mycorrhizae of *Pinus densiflora*.

	若い主根の数 Fresh main roots number	ポット内の菌糸 Mycelia in the pots	菌根の形態 Mycorrhiza Morphological features	菌根菌種数 Mycorrhizal fungi species number
対照 Control	5～7	菌糸束，白色 mycelial strand white	フォーク短，フォーク長，サンゴ状，棒状 fork short, fork long, coralloid, rod	4
塩素酸ソーダ $NaClO_3$ 150 kg/ha	5～7	菌糸束白色，黒色 mycelial strand white, black	フォーク短，サンゴ状 塊状黒色 fork short, coralloid crust black	3
塩素酸ソーダ $NaClO_3$ 300 kg/ha	9～15	菌糸のマット，白色，黒色 mycelial mat white, black	フォーク短，白色，塊状黒色 fork short white, crust black	2
塩素酸ソーダ $NaClO_3$ 600 kg/ha	10～20	根状菌糸束，白色，黒色 rhizomorphs white, black	フォーク短，フォーク長，サンゴ状，棒状 fork short, fork long, coralloid, rod	4

1971年4月植付，1971年4月散布，散布1か月後と6か月後に掘取りを行ない調査した。
Planting : 1971, Apr. Treatment by herbicide : 1971, Apr. The mycorrhizae were observed after a month and 6 months of scattering.

ずかにマット状に広がる菌糸がふえ，菌根量が増加した（Photo. 1, B)。$NaClO_3$ 300 kg/ha では主根の数がふえ，ポット壁に接する面に菌糸の白いマットができた。細根量も多くなり始めており，菌根の種類は2種に減ったが，その量はむしろ増加した（Photo. 1, C)。$NaClO_3$ 600 kg/ha では主根が 10～20 本と多くなり，白色マット状の菌糸のコロニーが壁面に斑紋状に広がった。また，白色や黒色の根状菌糸束も増加し，菌の種類数が増加した。菌根の種類も4種類にふえた。$NaClO_3$ の高濃度区では散布後3か月間ほとんど菌糸や菌根の形成がみられず，秋に急速に菌糸が広がった（Photo. 1, D)。

菌根の種類についてみると，無散布区ではフォーク状や棒状の菌根が数多く見られ（Photo. 2, A)，$NaClO_3$ 300 kg/ha では白色菌根の他に黒色塊状になる菌根が見られたが（Photo 2, C)，これは $NaClO_3$ 150 kg/ha にあったものがさらに多くなったためである。$NaClO_3$ 600 kg/ha では黒色塊状の菌根がへり，無散布ポットのものに類似した菌根が増加した（Photo. 2, D)。菌根の種類も明らかに $NaClO_3$ の濃度に応じて変化した。殺菌力のつよい $NaClO_3$ 600 kg/ha ではかえって菌の種類がふえるという現象が見られた。

2. 土壌微生物に対する影響

1) 目黒苗畑土壌における実験：Fig. 3 には目黒苗畑の土壌で行った実験結果を示す。無散布区では細菌が5月から7月に増加し，放線菌の季節による増減は少なく，糸状菌は夏に減少し，秋に増加した。$NaClO_3$ の散布区では微生物数の変動様式に一定の傾向が認められた。すなわち，$NaClO_3$ 300, 600 kg/ha では糸状菌，細菌，放線菌がいずれも散布後に減少し，散布3か月後の7月に急増し，秋から冬にかけて減少した。$NaClO_3$ 75, 150 kg/ha でも類似した傾向が見られたが，散布1か月後の細菌の減少はなく，むしろ5月から7月にかけて増加が見られた。糸状菌と放線菌についてもその変動が少なくなり，$NaClO_3$ の濃度が下がるにつれて，無散布の微生物数の変動様式に近づいた。$NaClO_3$ の散布による糸状菌の変動様式は無散布の場合とまったく逆になった。

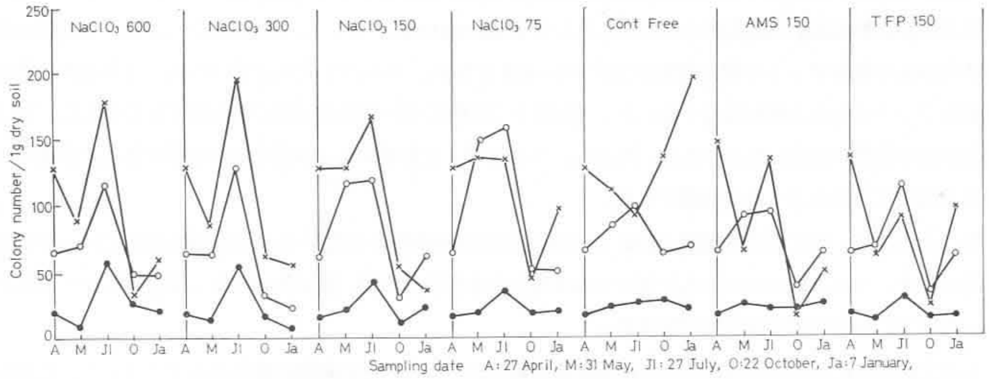


Fig. 3 土壌微生物におよぼす除草剤の影響（目黒苗畑土壌）
Effects of herbicides on soil microorganisms in Meguro nursery soil.
希釈平板法によって分離，土壌は各ポットの3点から採取した。○：細菌 $\times 10^5$，●：放線菌 $\times 10^5$，×：糸状菌 $\times 10^3$，試料採取日，A：4月27日，M：5月31日，Jl：7月27日，O：10月22日，Ja：1月7日
Soil microorganisms were isolated by dilution plate method, ○：Bacteria $\times 10^5$, ●：Actinomycetes $\times 10^5$, ×：Fungi $\times 10^3$, Planting：April 6, Treatment by herbicides：April 27, 1971. Sampling dates, A：April 27, M：May 31, Jl：July 27, O：October 22, Ja：January 7.

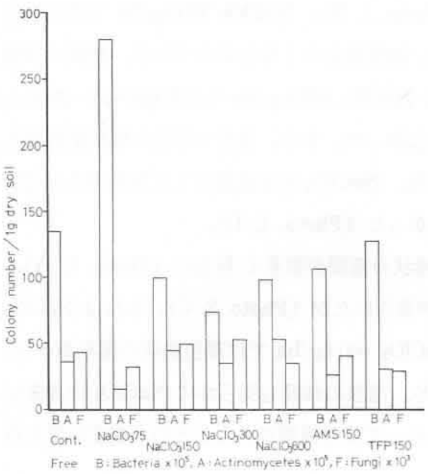


Fig. 4　除草剤散布1年後の土壌微生物（目黒苗畑土壌）

Soil microorganisms after a year of treatment by herbicides.

希釈平板法による試料は各ポット2点から採取した。1972年4月27日

B：細菌 ×10^5，A：放線菌 ×10^5，F：糸状菌 ×10^3

Soil microorganisms were isolated by dilution plate method. Soils for isolation were collected from two points of each pot.

AMS 150 kg/ha と TFP 150 kg/ha の微生物数の変動様式は互いに類似した。細菌と放線菌との動きは無散布区の場合に類似し，いく分変動幅が大きいように見える程度であった。糸状菌の場合には減少，増加，再減少から安定への移行が見られた。$NaClO_3$ が非選択的な殺菌もしくは静菌作用をもつのに対して，AMS と TFP は糸状菌に特異的に作用するように見えた。薬剤の種類と濃度によってその影響力が変化するのは明らかであった。

微生物の種類組成も明らかに変化しており，$NaClO_3$ 300，600 kg/ha では *Trichoderma* が消失し，それ以下の濃度，無散布および AMS 150 kg/ha や TFP 150 kg/ha では *Trichoderma* がかなり多かった。*Trichoderma* が減少した区では *Penicillium* が増加した。糸状菌数の変動はもっぱら *Penicillium* のコロニー数の増減によった。細菌でも類似した現象が認められ，$NaClO_3$ の濃度が高くなるにつれて *Bacillus mycoides* が減少し，種類組成が変化した。詳細については検討しなかったが，その変化は散布直後に大きく，6か月後にはその影響もほぼ消失したように見えた。

散布1か年後の微生物相の状態を Fig. 4 に示す。$NaClO_3$ については $NaClO_3$ 75 kg/ha で細菌が異常に多かったが，他の区ではほぼ同様の傾向が見られた。散布後1年目でほぼ正常な状態にもどったように見えるが，$NaClO_3$ の高濃度区では依然として *Trichoderma* が少なく，影響は残っていた。土壌の pH は $NaClO_3$ の散布ポットで散布直後に pH 8.0～6.5 となり，アルカリ性に近づいたが，1年後にはほぼ無散布ポットのものと変わりなくなった。AMS や TFP については菌の種組成を見ても差がなく，ほぼ完全に元の状態に回復したといえる。ただし，これはポット実験によって得られた結果であり，林地にそのまま適用できるかどうかは疑問である。

2）赤沼苗畑土壌における実験：Fig. 5 に赤沼苗畑の有機物の少ない弱酸性土壌を用いて行った実験結果を示す。この実験においてもアカマツの2年生苗を植栽したが，夏の乾燥によって枯死したものが多かったので，微生物相の変化だけを示す。

この土壌では目黒苗畑土壌に比べて，糸状菌の動きが少なく，逆に細菌の動きが活発であった。無散布ポットでは細菌が春から夏に向かって増加し，秋には減少し，放線菌にも同様の傾向が認められた。糸状菌の動きは少なく，菌数も目黒苗畑土壌のものにくらべて1桁少なかった。$NaClO_3$ 37.5 kg/ha では放線菌の夏の増加がみられず，細菌が無散布にくらべると5月に増加したが，全体の変動様式は無散布のものと類似した。

一方，$NaClO_3$ の 75，150 kg/ha では細菌の増加が完全に抑制され，放線菌にもよわい抑制効果が見られた。$NaClO_3$ 300 kg/ha では散布1か月後にやはり抑制作用があり，7月に増加し，秋には減少する傾

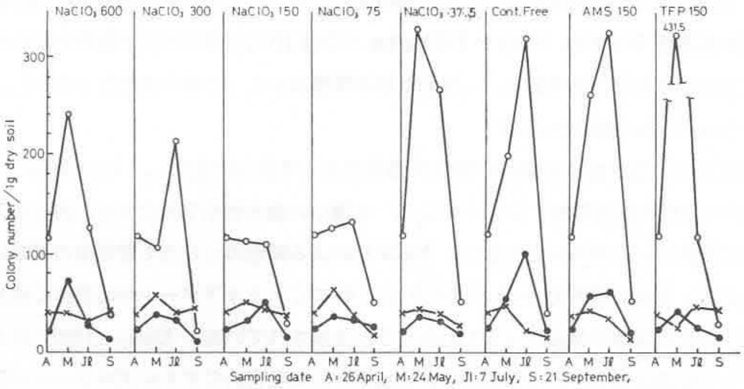


Fig. 5　土壌微生物におよぼす除草剤の影響（赤沼苗畑土壌）
Effects of herbicides on soil microorganisms in Akanuma nursery soil.
希釈平板法によって分離，土壌は各ポットの3点から採取した。
○：細菌 $\times 10^5$，●：放線菌 $\times 10^5$，×：糸状菌 $\times 10^3$。
試料採取日，A：4月26日，M：5月24日，Jl：7月7日，S：9月21日，
アカマツ植栽および除草剤散布は5月1日に行った。
○：Bacteria $\times 10^5$，●：Actinomycetes $\times 10^5$，×Fungi $\times 10^3$.
Soil microorganisms were isolated by dilution plate method.
Planting : May, 1, 1972.　Treatment by herbicides : May, 1, 1972.
Sampling dates,　A : Apr. 26,　M : May, 24,　Jl : July, 7,　S : September, 21.

向が見られた。$NaClO_3$ 600 kg/ha でも同じような傾向が見られたが，$NaClO_3$ 300 kg/ha にくらべて5月には抑制作用が見られず，7月に減少する傾向があった。高濃度になるほど細菌の反応が速く起ったように見える。細菌の種類組成は $NaClO_3$ の濃度に応じて明らかに変化しており，高濃度ほどその種類組成は単純であった。ただし，放線菌や糸状菌の種類組成に対する影響はわずかであった。以上のことから，$NaClO_3$ が微生物相に影響を与える限界濃度はおそらく 30～40 kg/ha であると思われる。AMS 150 kg/ha では無散布とほぼ同じ変動様式が見られ，目黒苗畑土壌の場合と同じように，この濃度では微生物相にほとんど影響を与えないように思われた。TFP 150 kg/ha では細菌が5月に増加し，明らかに細菌の繁殖が促進された。一方，放線菌や糸状菌に対しては抑制作用が見られ，先の例には現われなかった特徴がとらえられた。TFP には弱度であるが糸状菌や放線菌を抑制する作用があり，おそらく濃度を高めるとこの作用は強まると思われる。

Ⅳ 考　　察

アカマツの生長に対する除草剤の影響は林地で施用した場合にも大きく，$NaClO_3$ の高濃度区では細根が枯死し，菌根が減少し，葉色が濃くなった。AMS や TFP でもその影響は高濃度で強く現われた[12]。なお，その詳細については後報する。殺菌剤を土壌に与えると *Pinus sylvestris* の生長が良好となったり[10]，メチルブロマイドによって土壌殺菌をするとマツの苗の生長がよくなったという[1]。また，殺菌剤によってラジアータマツの生長が悪くなった例[16]や殺菌剤の濃度に応じて *P. sylvestris* の生長が阻害される例[5]もある。

この実験で用いた除草剤，$NaClO_3$ にもアカマツの初期の生育を抑制する作用があり，高濃度では根の

枯死を促すことがある。根の枯死によって地上部の生育がおくれるが，葉の色や芽に対しては影響が少ない。$NaClO_3$ の低濃度 75 kg/ha と TFP 150 kg/ha とでは10月以降に生長促進効果があるが，これは秋に主根の発生が促進されたためである。一時的な根の障害はかえって後の発根をうながし，根量の増加と菌根の形成をうながしたと思われる。

このような樹木の生長の良否は薬剤の種類や濃度によって微妙に変化し，その原因は単一ではない。$NaClO_3$ の場合には根に直接影響するだけでなく，土壌中の微生物相を変化させ，菌根菌の繁殖もおさえる。この作用は濃度が高くなるほど大きい。$NaClO_3$ による障害のうけ方も菌根菌の種類によって異っているように見える。ILOBA (1975) によればダラポンやアミノトリアゾールが菌根菌の菌糸の生長を抑制し，濃度に対する反応が菌の種によってかわることが指摘されている。UHLIG (1966) によると菌根菌の生長がシマジンで促進されるという例もあり，土壌微生物に阻害的なアリルアルコールが菌根菌の生長に有効となる場合もある[17]。おそらく，$NaClO_3$ の場合にも同じことが起っているのであろう。

菌根の形成が盛んになるにつれて，地上部や地下部の生長も回復してくる。菌根形成が多くなる時期は秋のびの後であり，土壌微生物数が減少する時期にあたっている。とくに $NaClO_3$ の高濃度区では殺菌がつよかったために菌根菌の侵入がおくれ，秋から冬にかけて一時に多種類の菌が侵入する傾向が見られた。微生物に対する殺菌力がつよいほど後の菌の侵入が盛んになるのは微生物の生態ではごく一般的に見られる事柄である。

殺菌剤の使用によって土壌中の *Trichoderma* が増加し，菌根が多少減少しても病原菌がおさえられたためにダンピングオフによる苗の枯死が少なく，生長がよくなったという例もあり，薬剤を与えると腐植の分解が進んで，有害物がなくなり，苗の生長がよくなるともいわれている[8]。また，アリルアルコールを与えると細菌と放線菌が減少し，*Trichoderma* がふえて，菌根形成がよくなり，P と K の吸収力が高くなったともいう[17]。メチールブロマイドを与えると菌根形成が悪くなったが，苗の生長はよくなったという例[2]や殺菌剤で菌根形成をとめてもアカマツの生長は悪化せず，新根の発生がよかったという例もある[7]。おそらく，化学物質の作用で土壌中の微生物相が変化し，その結果，土壌中の養分状態がかわるものと思われる。$NaClO_3$ には硝化細菌の活動を抑える働きがあるといわれ[9]，アカマツの低濃度区での生長促進は土壌中のアンモニア態窒素の増加によるものかもしれない。

以上の例に見られるように，土壌や微生物には無関係につくられた除草剤が殺菌剤と同じような働きを示し，土壌微生物や菌根菌を変化させていることは明らかである。土壌への施用量や施用面積，施用時期などによって，肥培にまさる効果を与えることもあり，マツの生育を阻害することもある。薬剤の効果を短期間の実験で判断するのは危険であるが，土壌に自然界にはない異物が与えられた時には，必らず微生物相に何らかの変化が起ることを知っておく必要がある。また，土壌に施用される薬剤の多くは土壌中の微生物の体またはその働きを通して，植物や動物に作用すると考えてもよいであろう。

引用文献

1) FOSTER, A. A. : Diseases of the forest nurseries of Georgia. Plant Dis. Repor. 40 : 69～70, (1956)

2) HACSKAYLO, E. and J. G. PALMER. : Effects of several biocides on growth of seedling pines and incidence of mycorrhizae in field plots. Plant Dis. Repor. 41 : 354～358, (1957)

3) ILOBA, C. : Einfluß der Pflanzenschutzmittel auf die Mykorrhiza bildung bei Waldbäumen.

Diss. Sekt. Forstw. Tech. Univ. Dresden, (1971)

4) ――――: Aspect of herbicidal effects on the symbiotic microorganisms of the forest plants. Eur. J. For. Path. 5 : 339～343, (1975)

5) ――――: The effects of some herbicides on the development of ectotrophic mycorrhiza of *Pinus sylvestris* L. Eur. J. For. Path. 6 : 312～318, (1976)

6) Johnson, L. F., E. A. Curl and J. H. Bond : Methods for studying soil microflora-plant disease relationships. Burges Pub. Co. (1959)

7) Kawai, M. and M. Ogawa : Studies on the artificial reproduction of *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. VI. Effects of TBZ, Benlate, Paraquat and some other chemicals on soil microbe populations and on the growth of *Pinus densiflora* seedlings. Trans. mycol. Soc. Japan. 19 : 1～9, (1978)

8) Laiho, O. and P. Mikola : Studies on the effects of some eradicants on mycorrhizal development in forest nurseries. Acta. For. Fennica 77 : 3～34, (1964)

9) Lees, H. and J. H. Quastel. : Nature, 15 : 276, (1945)

10) Linnemann, G. : Einfluß von Bioziden auf die Mykorrhizabildung. Allg. Forst- und Jagtzeitung. 139 : 185～198, (1968)

11) Matsui, M. : The effects of sawdust compost on the growth of Monterey pine seedlings raised on biocide treated soils. Forest soils Conference 1st : 150～152, (1958)

12) 小川　真：アカマツ林における除草剤施用による林内環境の変化と土壌微生物相の変化，農林水技会事務局編除草剤の森林生態系におよぼす影響とその調査方法に関する研究―土壌微生物におよぼす影響，農林水技会研究成果，75 : 102～116，(1974)

13) Palmer, J. G. and E. Hacskaylo : Additional findings as to the effects of several biocides on growth of seedling pines and incidence of mycorrhizae in field plots. Plant Dis. Repor. 42 : 536～537, (1958)

14) Persidsky, D. J. and Wilde, S. A. : The effect of biocides on the survival of mycorrhizal fungi. J. For. 58 : 22～24, (1960)

15) Uhlig, S. K. : Untersuchungen über die Weckselwirkung zwischen Simazin und Mykorrhizabildenden Pilze. Wiss. Z. Tech. Univ. Dresden 15 : 639～641, (1966)

16) Wilde, S. A. and D. J. Persidsky : Effect of biocides on the development of ectotrophic mycorrhizae in Monterey pine seedlings. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 20 : 107～110, (1956)

17) Yatazawa, M., Persidsky, D. J. and S. A. Wilde : Effect of allyl alcohol on micropopulation of prairie soils and growth of tree seedlings. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 24 : 313～316, (1960)

Effects of Herbicides on the Mycorrhizae of *Pinus densiflora* and Soil Microorganisms

Makoto OGAWA[1] and Yoshito YAMBE[2]

Summary

Two year-old saplings of *Pinus densiflora* were planted in a pot with loamy soil at the beginning of April, 1971. Three weeks after planting they were treated with the following herbicides at various concentrations; 70% granular chemicals of $NaClO_3$, 75, 150, 300 and 600 kg/ha, 70% granular chemicals of Ammonium sulfamate, 150 kg/ha and 10% granular chemicals of Tetrafluoro-propionic acid, 150 kg/ha.

In the pots treated with a concentration of $NaClO_3$ higher than 150 kg/ha, the growth of the tops and roots and the formation of mycorrhizae were severely inhibited soon after the treatment. On the other hand, the growth of the tops and roots were stimulated in the pots with a lower concentration of $NaClO_3$. The fungal mycelia of the mycorrhizal fungi disappeared once from the rhizoplane in the pots treated with $NaClO_3$, but after 9 months the white mycelial mats and strands formed over the boundary between the soil and pot wall. The amounts were apparently greater in the pots with a lower concentration of the chemical. The formation of mycorrhizae progressed with the recovery of mycelial growth and root development. In the pot of $NaClO_3$ 600 kg/ha, the initiation of mycelial growth was retarded because of the high and unselective fungicidal activity, but the kinds of mycorrhizae increased remarkably. The amounts and kinds of mycorrhizae varied with the concentration of $NaClO_3$.

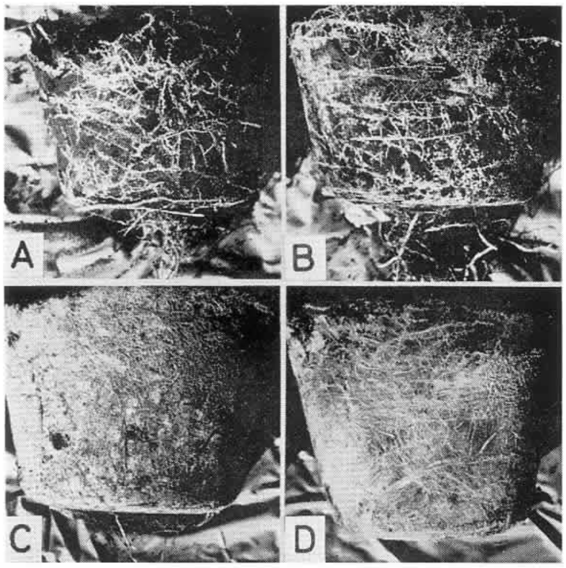
Tetrafluoro-propionic acid inhibited the growth of roots and the formation of mycorrhizae.

Ammonium sulfamate did not affect on the growth of pine. The formation of mycorrhizae also recovered at 9 month after treatment in these pots. Tetrafluoro-propionic acid stimulated the growth of pine, and the tops elongated compared with those of the control.

Changes in the soil microbial flora after the treatment were different among the soils used. However, a regular trend was recognized in the number of soil microorganisms in the cases treated by $NaClO_3$ depending on the concentration. Bacteria and fungi were variable, and the colony numbers decreased soon after the treatment, increased after 2～3 months and decreased and became stable after 9 months. Among soil microorganisms, *Bacillus mycoides* and *Trichoderma* sp. disappeared from the pot with a higher concentration of $NaClO_3$, and so they could be used as an index of the treatment. The soil microbial flora recovered to a normal state after a year of treatment in all of the pot except for $NaClO_3$ 75 kg/ha. Ammonium sulfamate and Tetrafluoro-propionic acid also affected the microbial population, but the effects were not great in the cases of $NaClO_3$.

Received April 1, 1980

(1) (2) Forest Soil Division



A. 対照，B. $NaClO_3$ 150 kg/ha，発根と菌根形成が促進された。C. $NaClO_3$ 300 kg/ha，壁面は白色菌糸で厚くおおわれた。D. $NaClO_3$ 600 kg/ha，若い主根の数と菌根の種類が目立って多くなった。

A. Control, B. $NaClO_3$ 150 kg/ha. The rooting and mycorrhiza formation were stimulated by the herbicide. C. $NaClO_3$ 300 kg/ha. The surface of pot was covered by white mycelial mat. D. $NaClO_3$ 600 kg/ha. The number of fresh main roots and the kind of mycorrhizae increased remarkably.

Photo. 1　ポット壁面に見られる菌根と菌根菌の菌糸の状態
塩素酸ソーダ散布後8か月

Mycorrhizae and mycelia of mycorrhizal fungi on the outside of pots treated by $NaClO_3$. After 8 months of treatment.

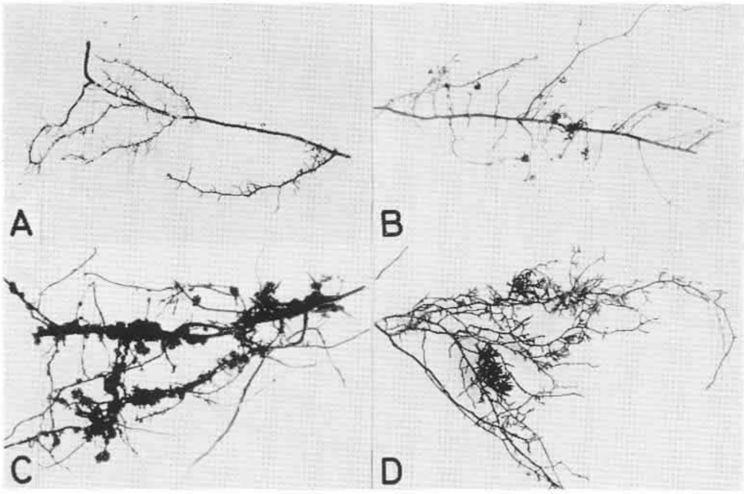


Photo. 2　塩素酸ソーダを散布したポットにできた菌根

Mycorrhizae of *Pinus densiflora* treated by $NaClO_3$.

A. 正常な根，フォーク状や棒状の菌根が多い，B. $NaClO_3$ 150 kg/ha，黒色サンゴ状や短い棒状の菌根がある。C. $NaClO_3$ 300 kg/ha，黒色菌根の塊りが多数形成された。D. $NaClO_3$ 600 kg/ha，黒色と白色のフォーク状菌根が形成された。

A. Normal root. The fork and rod shaped mycorrhizae were formed. B. $NaClO_3$ 150 kg/ha. Black coralloidal and short rod shaped mycorrhizae were formed. C. $NaClO_3$ 300 kg/ha. Aggregates of black mycorrhizae were formed abundantly. D. $NaClO_3$ 600 kg/ha. Black and white fork shaped mycorrhizae were formed.